

## ЛИТЕРАТУРА

1. Ворошнин Л.Г., Хусид Б.М. Диффузионный массоперенос в многокомпонентных системах.—Мн.: Наука и техника, 1979. — 256 с.

УДК 669.141.25

Е.И.БЕЛЬСКИЙ, д-р техн.наук,  
Н.Ф.НЕВАР, М.В.СИТКЕВИЧ,  
канд.техн.наук (БПИ)

### РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ ВЫСОКОБОРИСТЫХ ЛИТЫХ СПЛАВОВ

Анализ процессов, протекающих в смесях, включающих карбид бора и железосодержащий порошок, показал, что при высокотемпературной выдержке в них образуются высокотвердые фазы FeB, Fe<sub>2</sub>B. Термодинамические расчеты и экспериментальные данные свидетельствуют о том, что взаимодействие указанных исходных компонентов происходит и в расплаве. В результате появляется возможность получения железобористых сплавов со структурой, состоящей из твердого раствора внедрения бора в  $\alpha$ -железо, боридов (FeB и Fe<sub>2</sub>B) и цементита Fe<sub>3</sub>C.

Экспериментальные сплавы выплавляли в графитовой печи электросопротивления типа Таммана. Расплав низкоуглеродистой стали раскисляли марганцем и кремнием, после чего в него вводили карбид бора.

Металлографический анализ показал, что в зависимости от содержания бора морфология структуры сплава претерпевает значительные изменения. Так, при введении 1–2 % В структура состоит из зерен феррита, по границам которых отдельными локальными участками располагается боридная эвтектика. Дальнейшее повышение содержания бора в сплаве (до 3 %) приводит к увеличению участков боридной эвтектики и смыканию их между собой. При этом наблюдается характерная для литого материала дендритная структура.

Рентгеноструктурный анализ сплавов указывает на наличие в их составе, кроме боридов и  $\alpha$ -фазы, также цементита, образованного вследствие отщеснения углерода из зон, занимаемых боридной эвтектикой, и роста его концентрации в твердой фазе.

Дальнейшее увеличение содержания бора в сплаве (3,5–4 %) приводит к образованию структуры эвтектического строения, состоящей из бороцементитной и  $\alpha$ -фаз, а также боридов. При содержаниях бора в сплаве выше 4 % формируется структура заэвтектического характера, в которой присутствуют первичные кристаллы фазы Fe<sub>2</sub>B.

Данные дюрOMETрического анализа показывают, что с увеличением содержания бора твердость сплава растет (рис. 1). Так, в сплаве с 1–2 % В твердость полученного материала находится на уровне 30 НРС<sub>3</sub>. Увеличение содержания бора в сплаве (3–5 %) позволяет повысить твердость до 40–55 НРС<sub>3</sub>.

Испытания на ударную вязкость проводили на маятниковом копре с использованием стандартных образцов без надреза. Ударная вязкость понижает-

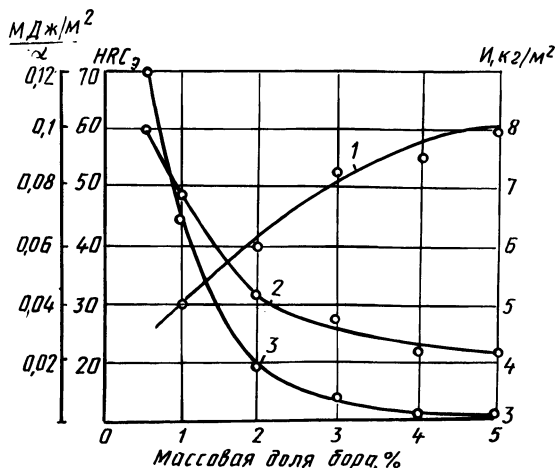


Рис. 1. Влияние содержания бора на показатели механических свойств сплавов: 1 — твердость; 2 — ударная вязкость; 3 — износ

ся с увеличением содержания бора в сплаве (особенно интенсивно при концентрации 1—3 %). Значения исследуемой характеристики изменяются в пределах 0,1—0,03 МДж/м<sup>2</sup> (рис. 1).

Сопротивление изнашиванию исследуемых сплавов увеличивается с повышением содержания бора (рис. 1). Сопротивление деформированию при изгибе с увеличением содержания бора в материале снижается.

Таким образом, как показывают исследования, оптимальное содержание бора 2,5—3,2 % при концентрации углерода 0,3—0,4 %.

Установлено, что кремний и марганец, вводимые для раскисления (0,4—0,6 %), оказывают существенное влияние на свойства сплава. При этом отмечается некоторое повышение твердости и ударной вязкости за счет дополнительного легирования  $\alpha$ -фазы, измельчения структуры, удаления вредных примесей. Изучение жидкотекучести разработанных сплавов показало, что при температуре заливки 1500 °С ее значения изменяются от 800 до 900 мм. По данному показателю разработанный материал можно сравнить с таким широко применяемым литейным сплавом, как высокохромистый износостойкий чугу́н. Эксперименты показали, что оптимальная температура заливки — 1450—1480 °С.

На основании выполненных опытов можно рекомендовать к использованию следующий состав сплава (массовая доля, %): С — 0,3—0,4; В — 2,5—3,2; Мп — 0,4—0,6; Si — 0,4—0,6; железо — остальное [1].

Результаты экспериментов свидетельствуют также о том, что после отжига образцов при 900 °С в течение 8 ч с последующим медленным охлаждением существенных изменений в их структуре не происходит. Отжиг при 950—1050 °С в течение 4—10 ч приводит к разрыву сетки боридной эвтектики, окаймляющей зерна твердого раствора. Ударная вязкость повышается на 10—15 %.

Производственное апробирование железобористого сплава производили в технологической лаборатории Минского тракторного завода. Испытания пока-

зали, что пластинки для металлорежущего инструмента, изготовленные из разработанного сплава, могут успешно использоваться для оснащения токарных резцов (в испытанных режимах) вместо стали Р6М5.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. А. с. 1089164 (СССР). Сплав на основе железа/М.В.Ситкевич, Е.И.Бельский, Н.Ф.Невар. — Оpubл. в Б. И., 1984, № 16.

УДК 621.785.5

М.В.СИТКЕВИЧ, канд.техн.наук,  
НГУЕН ВАН ХЪЕН, канд.техн.наук (БПИ)

### ОСТАТОЧНЫЕ И ТЕРМИЧЕСКИЕ НАПРЯЖЕНИЯ ПРИ ТЕРМОЦИКЛИРОВАНИИ В БОРИРОВАННЫХ ОБРАЗЦАХ

Для изучения термонапряженного состояния в поверхностно-упрочненных изделиях рассмотрим кольцевой образец, состоящий из  $n$  слоев различных материалов, индексы которых увеличиваются по мере удаления от общей оси:  $i = 1, 2, \dots, n$ .  $i$ -й слой имеет внутренний радиус  $r_{i-1}$ , наружный  $r_i$  и соответствующие модуль упругости  $E_i$  и коэффициент теплового расширения  $\alpha_i$ .

Можно считать, что в кольцевых образцах осевые термические напряжения отсутствуют. Для определения радиального и тангенциального напряжений  $\sigma_r^i$  и  $\sigma_\theta^i$  в наиболее опасных местах — на границах слоев — предположим, что в результате изменения температур в кольце первоначальная граница между  $i$ -м и  $(i + 1)$ -м слоями переместится.

Так как материал непрерывен при переходе через границу от одного слоя к другому, имеем:

$$U_{iH}^T - U_{(i+1)B}^T = U_{(i+1)B}^P - U_{iH}^P, \quad (1)$$

где  $U_{(i+1)B}^T$ ,  $U_{iH}^T$  — тепловые перемещения внутренней и наружной поверхностей  $(i + 1)$ -го и  $i$ -го слоев соответственно;  $U_{(i+1)B}^P$ ,  $U_{iH}^P$  — перемещения внутренней и наружной поверхностей  $(i + 1)$ -го и  $i$ -го слоев соответственно в результате действия радиального напряжения  $\sigma_r^i$  на границе  $i$ -го и  $(i + 1)$ -го слоев.

Значения  $U_i^T$  и  $U_i^P$  определяются из следующих выражений [1]:

$$U_{iH}^T = \frac{2\alpha_i r_i}{r_i^2 - r_{i-1}^2} \int_{r_{i-1}}^{r_i} T r dr + \delta_i r_i; \quad (2)$$

$$U_{(i+1)B}^T = \frac{2\alpha_{i+1} r_i}{r_{i+1}^2 - r_i^2} \int_{r_i}^{r_{i+1}} T r dr + \delta_i r_i;$$